



Siła uderzenia - prawdy i mity

Zagłębiając się w kwestię nomenklatury wspinaczkowej, nie sposób nie odnieść wrażenia, że panuje w niej nieład. Mam na myśli pojęcia znane i używane powszechnie od lat takie jak: **siła graniczna** i **siła uderzenia**. Pojęcia te są często używane przez wspinaczy zamiennie i zwykle w niewłaściwym kontekście. Wystarczy tylko zasięgnąć wiedzy na ten temat w Internecie, a włos już zaczyna się jeżyć na głowie. Z tej lektury, ale i też z moich wieloletnich osobistych spostrzeżeń w tym względzie wynika, że siła graniczna jest często utożsamiana przez wspinaczy z siłą, jaka działa na ciało odpadającego w trakcie hamowania lotu lub też z siłą, jaka działa na jego ciało w czasie lotu, ewentualnie (o zgrozo!) z siłą, która zrywa linę! Świadczy to o niezrozumieniu istoty zjawisk, zachodzących w trakcie powstrzymywania odpadnięcia. Fakty te doprowadziły mnie do konkluzji, że wiedza w tym zakresie jest na niewłaściwym poziomie i wymaga niezwłocznego uzupełnienia oraz unifikacji.

Wszystko wskazuje na to, że przyczyna licznych nieporozumień i nieścisłości leży bezpośrednio w tłumaczeniach na język polski dokumentów normujących produkty alpinistyczne z czasów, gdy obowiązywały jeszcze wymagania ówczesnej normy UIAA. Zaczerpnięty z tych dokumentów termin siła graniczna jest od lat uporczywie propagowany i utrwalany na wszelkiego rodzaju kursach wspinaczkowych bez zrozumienia jego istoty. Od jakiegoś czasu obserwuje się, że równie często używany jest termin siła uderzenia. Nie należy go jednak utożsamiać z pojęciem siły granicznej. Jaki jest zatem związek między tymi terminami i w jakim kontekście należy ich używać? Upadek z wysokości jest zdarzeniem dynamicznym i wszystkie zjawiska związane z powstrzymaniem tego upadku mają również taki charakter. **Podczas hamowania lotu ciało wspinacza oraz każdy element układu asekuracyjnego poddany jest dynamicznemu obciążeniu (szarpnięciu) w wyniku wystąpienia na linie chwilowej siły zwanej siłą uderzenia lub siłą udaru.** Odpadający wspinacz odczuwa tę siłę w postaci gwałtownego szarpnięcia, które oddziałuje na jego ciało, powoduje odkształcenie, a w skrajnych przypadkach - uszkodzenie jego ciała. Wartość siły uderzenia generowana w linie w trakcie udaru jest dużo większa niż ta wynikająca ze statycznego oddziaływania na linę masy osoby odpadającej.

Siła uderzenia jest proporcjonalna do upadającej masy wspinacza i przyspieszenia, jakiemu poddane jest jego ciało w trakcie hamowania lotu (zgodnie z II zasadą dynamiki, sformułowaną w 1687 roku przez Newtona). Przyspieszenie to jest funkcją takich parametrów jak: właściwości mechaniczne liny i innych elementów wchodzących w skład "łańcucha asekuracyjnego" (w tym ciała wspinaczy); konfiguracja geometryczna systemu asekuracyjnego (współczynnik odpadnięcia); sposobu asekuracji (statyczna/dynamiczna); przemieszczanie się elementów łącznych (w tym zaciskanie węzłów), etc.

W trakcie konkretnego odpadnięcia jedynym zmiennym, determinującym wartość siły w linie i zarazem stosunkowo łatwo definiowalnym parametrem jest tzw. współczynnik odpadnięcia, czyli stosunek długości lotu do długości elementu pochłaniającego upadek. W praktyce, zamiast więc mówić o przyspieszeniu, chętniej odwołujemy się do tego współczynnika, na podstawie

którego możemy jedynie szacować wartość siły w linie, a ściślej - stwierdzić, czy odpadnięcie należy do kategorii cięższych czy lżejszych. Wartość przyspieszenia osiąganego w czasie hamowania lotu może w niekorzystnych warunkach osiągać nawet kilkunastokrotną wartość przyspieszenia ziemskiego! Od wielu lat prowadzone są prace badawcze, mające na celu określenie maksymalnych (granicznych) przyspieszeń, a w konsekwencji i sił, które byłyby tolerowane przez ludzi (pod pewnymi określonymi warunkami).

W oparciu o te badania opracowano przed laty (zanim zaczęły obowiązywać ujednoczone normy unijne) normę dla dynamicznych lin alpinistycznych, w której określono wymagania stawiane linom oraz metody ich badania (ówczesna norma UIAA). Współcześnie "dynamiczne liny do wspinaczki" są przedmiotem normy europejskiej **EN 892:2004**. Odpowiednikiem tej normy w Polsce jest **PN-EN 892:2006** (sprzęt alpinistyczny, dynamiczne liny do wspinaczki, wymagania bezpieczeństwa i metody badań) z dnia 19.06.2006 r. Opisana we wspomnianych normach **siła graniczna jest jedynie wymaganiem stawianym wszystkim linom dynamicznym - to po prostu parametr dopuszczalny, jakiego nie można przekroczyć**. Jest on stały dla danego typu lin i nie charakteryzuje w żadnym stopniu rzeczywistych parametrów konkretnej liny! Jest to raczej parametr charakteryzujący wytrzymałość organizmu człowieka na przeciążenia.

Przypomnę, że według normy PN-EN 892:2004 siła graniczna wynosi: - 12 kN dla lin pojedynczych i bliźniaczych (test masą 80 kg); - 8 kN dla lin połówkowych (test masą 55 kg na każdą żyłę z osobna).

Limit wartości siły granicznej (zręczniejszy byłoby nazywać ją dopuszczalną) został określony przy uwzględnieniu bezpieczeństwa wspinacza. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że nie jest to równoznaczne z gwarancją bezpieczeństwa. Aby można było uznać tę wartość siły za bezpieczną muszą być spełnione dodatkowe warunki, z których najważniejsze to:

- siła uderzenia (szarpnięcie) musi być skierowana wzdłuż osi ciała człowieka;
- działanie siły musi być ograniczone do ułamków sekundy;
- człowiek musi charakteryzować się dobrym zdrowiem i tężyzną fizyczną (duże znaczenie ma wiek).

W próbie laboratoryjnej zakłada się warunki bardziej drastyczne, które przekraczają znacznie te występujące w realnych warunkach. Ideą takiej próby jest bowiem wyizolowanie tylko jednego elementu z łańcucha asekuracyjnego, tj. liny, i zbadanie jej zdolności do pochłaniania energii udaru w warunkach ekstremalnych, kiedy to niemal cała energia upadku zostanie pochłonięta przez linę. Aby tak było, należy dokonać udaru ciała, którego odkształcalność pod wpływem sił jest minimalna, tj. w praktyce - ciała nieodkształcalnego. Uwzględnia się przy tym takie parametry jak: masa ciała, konfiguracja geometryczna systemu asekuracyjnego, sposób mocowania liny, rodzaj asekuracji (statyczna) itd. **Generowaną podczas pierwszego udaru (w warunkach laboratoryjnych) siłę uderzenia, należałoby nazwać nominalną siłą uderzenia**, jest ona bowiem parametrem charakterystycznym dla danej liny i jest zawsze podawana na tabliczce znamionowej (etykiecie) liny. Nominalna siła uderzenia, której wartość jest określana w trakcie pierwszej próby „udarnościowej” liny (pierwszego odpadnięcia testowego), mówi nam o tym, jaką maksymalną siłę uderzenia zarejestrowano w linie w trakcie udaru ciała w warunkach testu laboratoryjnego (przy współczynniku odpadnięcia, n 1,78). Parametr ten jest szczególnym przypadkiem siły uderzenia. Jeżeli konkretna lina spełnia wymagania normy EN 892:2004, oznacza to między innymi, że nominalna siła uderzenia zarejestrowana w trakcie pierwszego testowego udaru jest mniejsza od siły granicznej.

W przypadku współczesnych lin dynamicznych wartość nominalnej siły uderzenia jest znacznie niższa od siły granicznej. Fakt ten wskazuje na wzrost bezpieczeństwa hamowania lotów. Dzieje się tak również z uwagi na to, że siła uderzenia działająca w czasie rzeczywistego udaru jest zwykle mniejsza występującej w warunkach laboratoryjnych. W trakcie hamowania odpadnięcia wspinacza w warunkach rzeczywistych "siła uderzenia", oddziałująca na jego ciało i cały łańcuch asekuracyjny (w tym linę), powoduje ich odkształcenie, a w konsekwencji - pochłanianie energii upadku przez te elementy. Ponadto, masa upadającego wspinacza w rzadkich przypadkach równa się masie testowej.

Wszystko to powoduje, że porównanie udaru zachodzącego w warunkach rzeczywistych z udarem w warunkach laboratoryjnych jest niewspółmierne. Na podstawie nominalnej siły uderzenia liny można jednak wyciągnąć pewne ogólne wnioski, dotyczące udarów zachodzących w warunkach rzeczywistych:

1. Im niższa wartość nominalnej siły uderzenia, tym "szarpnięcie", przekazane przez linę na ciało odpadającego wspinacza, jest mniejsze.
2. W celu wywołania siły uderzenia równej nominalnej sile uderzenia danej liny konieczne byłoby odpadnięcie wspinacza o znacznie większej masie, niż to określono w normie (przy założeniu takiego samego współczynnika odpadnięcia) lub też upadek wspinacza powinien wystąpić przy znacznie większym niż w teście współczynniku odpadnięcia (przy założeniu, że masa człowieka równa jest masie określonej w normie).
3. Jeżeli masa wspinacza równa jest masie określonej w normie, a udar występuje przy takim samym jak w teście współczynniku odpadnięcia, to zawsze udar w warunkach rzeczywistych będzie łagodniejszy niż udar w warunkach laboratoryjnych.
4. Każdy następny udar powoduje zmianę właściwości mechanicznych liny (staje się bardziej sztywna), co w konsekwencji powoduje wzrost siły uderzenia przy kolejnych udarach.

Reasumując:

1. **Do opisu zjawisk występujących w czasie udarów ciała, należy używać terminów siła uderzenia lub siła udaru.** Są to pojęcia najbardziej ogólne.
2. Pojęcia siła uderzenia należy również używać (dokonując pewnego myślowego uproszczenia) w przypadku udarów wspinaczy w warunkach rzeczywistych.
3. Generowana w linie siła jest miarą odpowiedzi liny na spadające ciało i występuje zawsze w czasie hamowania lotu. Pośrednio przekazuje informację o tym, jak sztywny jest system asekuracyjny.
4. Siła uderzenia jest proporcjonalna do upadającej masy wspinacza i przyspieszenia, jakiemu poddane jest ciało w czasie hamowania lotu.
5. **Nominalna siła uderzenia** to maksymalna wartość siły uderzenia zarejestrowana w linie podczas pierwszego odpadnięcia w warunkach laboratoryjnych. Do terminu tego należy odnosić się przy porównywaniu właściwości lin lub podejmowaniu decyzji o wyborze liny.
6. **Siła graniczna** to parametr opisujący odporność ciała ludzkiego na przeciążenia i można stosować go jedynie w kontekście obligatoryjnego wymogu (normy).
7. W czasie swobodnego lotu wspinacza (od momentu odpadnięcia do początku naprężania się liny) na upadające ciało działa siła grawitacji oraz działająca w kierunku przeciwnym siła oporu powietrza.

8. Kolejne udary powodują wzrost siły uderzenia, działającej na ciało wspinacza w czasie hamowania lotu. Liny o niższej nominalnej sile uderzenia i większej ilości uderzeń testowych posiadają większy potencjał do pochłaniania energii upadku, są zatem bezpieczniejsze.
9. **Siła uderzenia jest różna na całej długości liny pracującej w czasie udaru.** Największa jej wartość występuje na odcinku pomiędzy odpadającym wspinaczem a pierwszym miejscem tarcia liny, np. o skałę, lub najwyższym przelotem. W miarę zbliżania się do asekuranta, na skutek tarcia liny o skałę lub w przelotach, wartość siły uderzenia w linie stopniowo zmniejsza się.
10. **Najbardziej zużywającymi się w czasie uderzeń częściami liny w są jej końcowe metry.** Wynika to z faktu, że lina jest zawsze najbardziej obciążona na odcinku pomiędzy odpadającym, a pierwszym miejscem tarcia liny. Dodatkowym czynnikiem destrukcyjnym jest zgięcie liny na karabinku najwyższego przelotu.

Z perspektywy laika zarysowane tu uwagi mogą nosić znamiona przysłowiowego "boju o pietruszkę", podczas gdy rozróżnienie na siłę graniczną i siłę uderzenia jest w istocie sprawą kluczową. Używanie powyższych pojęć zgodnie z ich znaczeniem rzeczywistym pozwala uniknąć wielu uproszczeń i błędów.

Marek Kujawiński – instruktor taternictwa PZA
instruktor wspinaczki wysokogórskiej, z
wykształcenia inżynier mechanik, przez dwie
kadencje członek komisji Szkolenia PZA